

1. Einleitung

Die Luftgütemessungen in der Krakau wurden auf Anfrage der Gemeinde Krakauhintermühlen von Seiten der Fachabteilung Ia, Referat für Luftgüteüberwachung, durchgeführt. Sie umfaßten neben den integralen auch Messungen mittels einer mobilen Meßstation, die in einem gesonderten Bericht (Bericht Nr. 3/1997) bereits veröffentlicht wurden. Der Anlaß für die Messungen sind Bestrebungen der Gemeinde Karakauhintermühlen, gemeinsam mit den Gemeinden Krakaudorf und Krakauschaten das Prädikat "Luftkurort" zu erwerben. Die gewonnenen Meßergebnisse sind eine wesentliche Grundlage für die Beurteilung der Luftgütesituation nach dem Steiermärkischen Heilvorkommen- und Kurortegesetz.

Die integralen Messungen wurden von April 1996 bis März 1997 durchgeführt.

Sie umfaßten folgende Untersuchungen:

- Messung der Belastung durch Schwefeldioxid (SO₂) mittels Bleikerzen
- Ermittlung des Staubniederschlages nach dem Bergerhoff-Verfahren
- Messung der Konzentrationen von Schwefeldioxid (SO₂) bzw. Stickstoffdioxid (NO₂) durch Badge-Sammler

2. Das Meßnetz

Im Hochtal der Krakau wurden an 6 Standorten integrale Meßeinrichtungen installiert, an denen folgende Schadstoffe gemessen wurden:

Kr 1:	Krakaudorf Kirche	Staub, SO ₂ , NO ₂
Kr 2:	Krakau-Hintermühlen Gemeindeamt / Schule	Staub, SO ₂ , NO ₂
Kr 3:	Meteorologische Meßstation (bei GH Tauernwirt)	Staub, SO ₂
Kr 4:	Ortsteil Moos	Staub, SO ₂
Kr 5:	Brandstatt (Kapelle)	Staub, SO ₂
Kr 6:	Unteretrach Gemeindeamt	Staub, SO ₂ , NO ₂

Abbildung 1: Das Meßnetz Krakau

Das Meßnetz wurde im Zeitraum vom 01.04.1996 bis 13.03.1997 betrieben. Bei den Auswertungen wurden die 12 Meßperioden folgendermaßen zusammengefaßt:

Sommersaison : 01.04.1996 - 24.09.1996 (1. - 6. Meßperiode)

Wintersaison : 24.09.1996 - 13.03.1997 (7. - 12. Meßperiode)

3. Beurteilungsgrundlagen

Der Beurteilung zugrunde gelegt sind die in den Tabellen 1 und 2 wiedergegebenen Kategorisierungen des Staubbiederschlags und der Schwefeldioxid-Deposition. Diese wurden vom Hygieneinstitut II der Universität Innsbruck entworfen und vom Amt der Salzburger Landesregierung 1975 veröffentlicht.

**Tabelle 1 : Kategorien der Staubbelastung - modifiziert
(Angaben als arithmet. Jahresmittelwert in g/m².28d)**

Kategorie	Meßwert	Beschreibung
I	unter 2,3	sehr geringe Staubbelastung
II	2,3 - 4,6	geringe Staubbelastung
III	4,6 - 9,4	Staubbelastung in Siedlungsräumen außerhalb von Industrieregionen (mäßig belastet)
IV	9,4 - 13,9	belastet
V	14 u. mehr	stark belastet

Darüberhinaus wurden noch weitere Grenzwerte für die Staubdeposition veröffentlicht:

Als **Kurzzeitimmissionswert (IW2)** wurde zum Schutz vor erheblichen Nachteilen und Belästigungen in der **„Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft 1986“ (TA-Luft '86)**, einer Verordnung zum deutschen Bundesimmissionsschutzgesetz, ein Grenzwert von 0.65 g/m².d für nicht gefährliche Stäube festgelegt.

Als **Langzeitimmissionswert (IW1)** (vergleichbar mit einem **Jahresmittelwert**) ist in der TA-Luft ein Grenzwert von 0.35 g/m².d festgelegt.

Für die Beurteilung der Luftqualität in Kurorten wurde 1997 vom **Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie** die Richtlinie **”Durchführung von Immissionsmessungen in Kurorten”** herausgegeben. Diese schreibt für Luftkurorte einen **Jahresmittelgrenzwert** von $0,165 \text{ g/m}^2 \cdot \text{d}$ vor.

**Tabelle 2: Kategorien der Schwefeldioxidbelastung
(Angaben als arithmet. Jahresmittelwert in $\text{mg SO}_3 / \text{dm}^2 \cdot 28\text{d}$)**

Kategorie	Meßwert	Beschreibung
I	unter 5	SO ₂ -Belastung vernachlässigbar
II	5,0 - 14,9	Gebiete mit geringer SO ₂ -Belastung
III	15,0 - 34,9	Gebiete mit mittlerer SO ₂ -Belastung ¹⁾
IV	über 35	Gebiete mit starker SO ₂ -Belastung ²⁾

¹⁾ Bei lang andauernden Inversionswetterlagen kann vor allem bei Werten über 25 mg nicht ausgeschlossen werden, daß gesundheitsschädigende Konzentrationen erreicht werden.

²⁾ Solange durch Messungen der Konzentration nicht das Gegenteil bewiesen ist, muß damit gerechnet werden, daß bei länger andauernden Inversionswetterlagen gesundheitsschädigende SO₂-Konzentrationen erreicht werden.

Für Stickstoffdioxid wurden von der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in den Luftqualitätskriterien für NO₂ Vorschläge für wirkungsbezogene Immissionsgrenzkonzentrationen veröffentlicht. Diese Grenzwerte sind auch in der Steiermärkischen Immissionsgrenzwerteverordnung (LGBl. Nr 5/1987) festgelegt (siehe Tab. 3), die selben Werte finden sich im VDI-Handbuch zur Reinhaltung der Luft. Zum Schutz der Vegetation soll der Tagesmittelwert 80 µg/m^3 NO₂ nicht überschreiten. Für längere Zeiträume werden keine Angaben gemacht.

Es kann davon ausgegangen werden, daß es bei Meßperiodenmittelwerten von über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 fallweise zu Überschreitungen der vorhin genannten Grenzwerte kommt. Dies zeigten vergleichende Untersuchungen in steirischen Meßnetzen.

Auch für Schwefeldioxid sind in der Steiermärkischen Immissionsgrenzwerteverordnung (LGBl. Nr 5/1987) Grenzwerte festgelegt (siehe Tab. 3). Vergleichsmessungen mit kontinuierlich aufzeichnenden Meßgeräten haben ergeben, daß bei Meßperiodenmittelwerten von über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2 fallweise Überschreitungen der genannten Grenzwerte zu erwarten sind.

Tab. 3: Grenzwerte nach der Steiermärkischen Immissionsgrenzwerteverordnung (LGBl. Nr 5/1987) für Stickstoff- und Schwefeldioxid für die Zone I ("Reinluftgebiete") in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Sommer		Winter	
	HMW	TMW	HMW	TMW
Schwefeldioxid	70	50	150	100
Stickstoffdioxid	200	100	200	100

Auch für die Schadstoffe Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid sind in der Richtlinie **"Durchführung von Immissionsmessungen in Kurorten"** strengere Grenzwerte veröffentlicht. Für beide Schadstoffkomponenten gelten demzufolge ganzjährig ein Tagesmittelgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sowie ein Halbstundenmittelgrenzwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Detaillierte Erfahrungen mit der Korrelation der integralen Meßergebnisse mit diesen Grenzwerten fehlen noch, erste Vergleiche deuten aber darauf hin, daß bei Meßperiodenmittelwerten von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit Überschreitungen der Kurortgrenzwerte gerechnet werden muß.

4. Immissionszustand

4.1. Schwefeldioxiddeposition

4.1.1. Bestimmung von SO₂ nach der Bleikerzenmethode

Flächenförmig aufgetragenes Bleidioxid (PbO₂) absorbiert aus der freien Atmosphäre schwefelhaltige, gasförmige Luftverunreinigungen unter Bildung von Bleisulfat (PbSO₄). Die Menge des gebildeten PbSO₄ ist proportional zur Menge der gasförmigen Schwefelverbindungen und zur Expositionszeit. Da Schwefeldioxid (SO₂) im Vergleich zu anderen Schwefelverbindungen als Luftschadstoff dominiert, gestattet eine quantitative Sulfat-Bestimmung (berechnet als SO₃) Rückschlüsse auf die mittlere SO₂-Immission während der Expositionszeit. Zur Aufnahme des gasförmigen SO₂ dient ein mit PbO₂ bestrichener Baumwollappen mit der Fläche von 1 dm², der um einen Zylinder (Höhe = 12,8 cm, Durchmesser = 2,5 cm) befestigt wird. Diese Vorrichtung wird "Bleikerze" genannt. Zum Schutz vor Regen und Verschmutzungen sowie zur Gewährleistung einer guten Luftzirkulation um die Bleikerze wird diese in einer Glocke mit Belüftungsöffnungen, offenem Boden und einer Aufhängung im Freien exponiert. Die Expositionszeit beträgt etwa 28 Tage.

4.1.2. Auswertung der Meßergebnisse

Tabelle 3: Mittlere SO₂-Deposition (in mg SO₃/dm².28d)

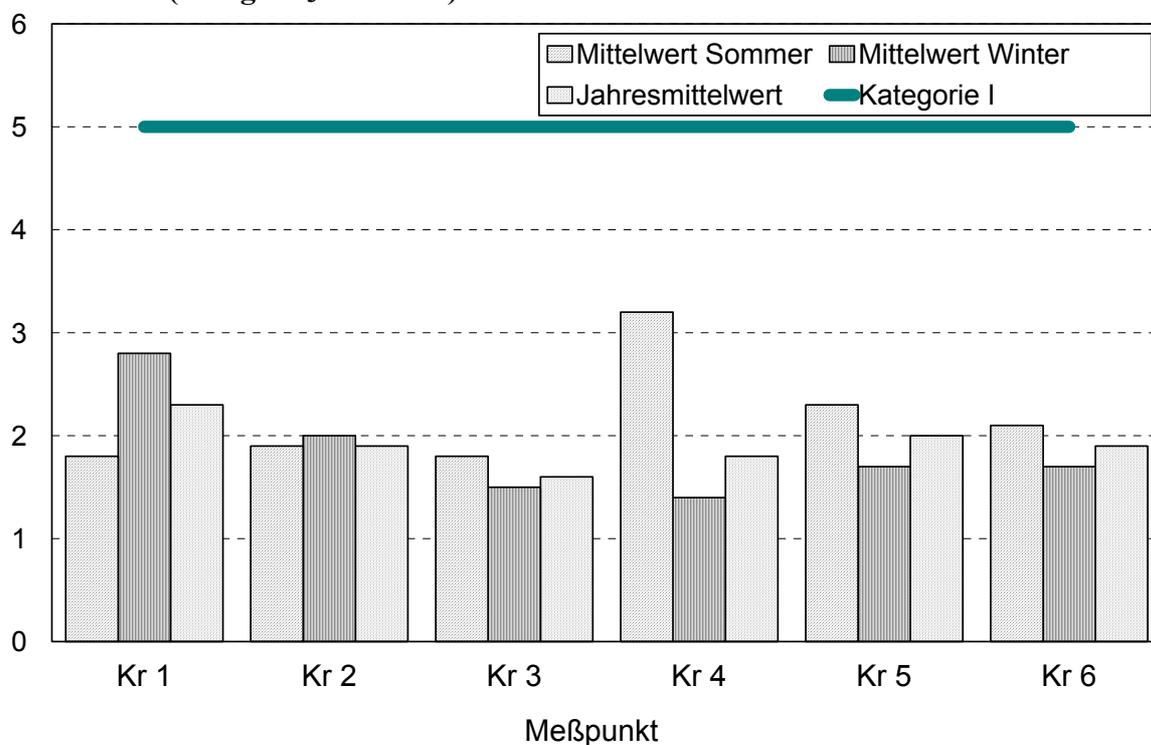
Meßpunkte	Mittelwert Sommer	Mittelwert Winter	Jahres- mittelwert
Kr 1	1,8	2,8	2,3
Kr 2	1,9	2,0	1,9
Kr 3	1,8	1,5	1,6
Kr 4	2,2	1,4	1,8
Kr 5	2,3	1,7	2,0
Kr 6	2,1	1,7	1,9

Sommersaison : 01.04.1996 - 24.09.1996 (1. - 6. Meßperiode)

Wintersaison : 24.09.1996 - 13.03.1997 (7. - 12. Meßperiode)

Tabelle 4: Zeitverlauf der Schwefeldioxiddeposition (in mg SO₃/dm².28d)

	Kr 1	Kr 2	Kr 3	Kr 4	Kr 5	Kr 6	Mittel
01.04.96 - 06.05.96	2,5	1,8	1,8	1,6	1,6	1,1	1,7
06.05.96 - 05.06.96	1,2	1,2	1,4	1,4	1,1	1,2	1,3
05.06.96 - 03.07.96	1,3	1,7	1,4	1,5	1,4	1,4	1,5
03.07.96 - 01.08.96	1,8	1,4	0,8	1,7	1,8	1,7	1,5
01.08.96 - 29.08.96	4,6	0,9	1,1	1,0	3,2	1,8	2,1
29.08.96 - 24.09.96	3,6	3,3	2,1	1,9	1,1	1,5	2,3
24.09.96 - 23.10.96	2,8	3,1	2,4	1,9	-	2,8	2,6
23.10.96 - 21.11.96	0,8	0,8	0,9	1,2	1,2	0,7	0,9
21.11.96 - 19.12.96	2,1	1,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,5
19.12.96 - 15.01.97	3,1	2,2	1,9	4,2	4,8	3,8	3,3
15.01.97 - 12.02.97	1,6	1,9	1,3	1,3	1,6	1,5	1,5
12.02.97 - 13.03.97	1,3	2,2	2,4	1,7	1,8	2,0	1,9

Abbildung 2: Mittlere SO₂-Deposition im Vergleich zu den Schwefeldioxidbelastungskategorien (in mg SO₃/dm². 28d)

4.2. Staubdeposition

4.2.1. Bestimmung des Staubniederschlages nach dem Bergerhoff-Verfahren

Ziel der Staubniederschlagsmessung ist es, die in einer bestimmten Zeit aus der Atmosphäre ausfallende Menge fester und flüssiger Substanz - mit Ausnahme des Wasseranteiles - zu erfassen.

Die Staubbmessung erfolgt nach dem "Bergerhoff-Verfahren". Dabei wird ein oben offenes Glas- oder Kunststoffgefäß auf einem etwa 1.5 m hohen Ständer angebracht. Der sich absetzende Staub und das Regenwasser werden in diesem Gefäß gesammelt. Die Expositionszeit beträgt 28 Tage.

Danach werden der Staubniederschlag und das Wasser in einer gewogenen Schale zur Trockene eingedampft und als Gesamtstaubniederschlag gewogen. Das Ergebnis wird auf 28 Tage und 1 m² Fläche bezogen.

4.2.2. Auswertung der Meßergebnisse

Tabelle 5: Zeitverlauf der Staubdeposition (in g/m².28d)

	Kr 1	Kr 2	Kr 3	Kr 4	Kr 5	Kr 6	Mittel
01.04.96 - 06.05.96	5,0	1,3	1,0	2,4	1,3	2,1	2,2
06.05.96 - 05.06.96	2,2	0,5	0,6	-	0,8	1,4	1,1
05.06.96 - 03.07.96	1,4	0,7	0,9	-	0,7	1,2	1,0
03.07.96 - 01.08.96	2,0	-	0,7	1,9	0,9	-	1,4
01.08.96 - 29.08.96	1,3	1,0	1,2	3,8	0,6	1,8	1,6
29.08.96 - 24.09.96	0,8	0,2	0,3	-	0,5	0,5	0,5
24.09.96 - 23.10.96	1,0	0,1	0,3	1,0	0,8	0,6	0,6
23.10.96 - 21.11.96	0,7	0,2	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3
21.11.96 - 19.12.96	1,9	0,5	0,3	0,4	0,9	1,1	0,9
19.12.96 - 15.01.97	1,6	0,5	0,2	0,4	0,8	0,9	0,7
15.01.97 - 12.02.97	2,7	-	0,4	1,6	3,4	1,9	2,0
12.02.97 - 13.03.97	6,4	0,9	0,7	1,4	2,5	2,3	2,4

Abbildung 3: Jahresmittelwert in Relation zum Langzeitimmissionswert der TA-Luft '86 (IW 1) und zum Grenzwert nach der Richtlinie für Kurorte

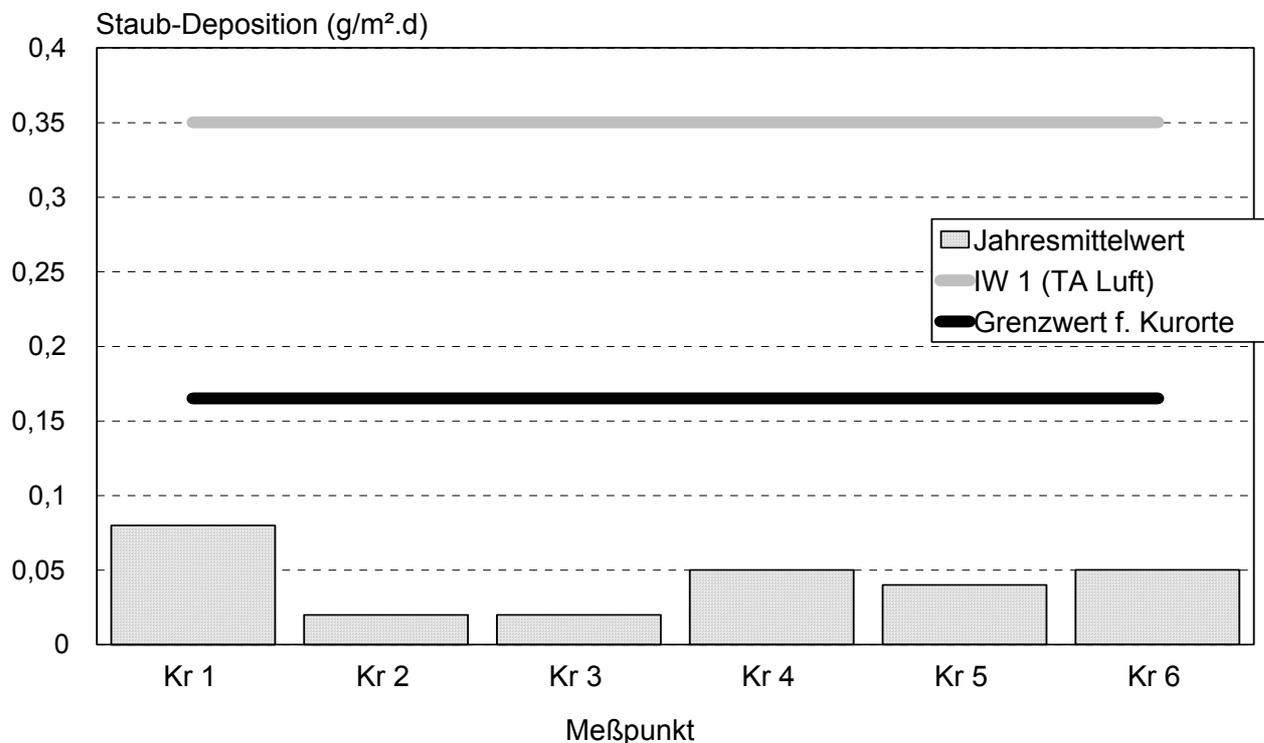


Abbildung 4: Durchschnittliche tägliche Staubbelastung pro Meßperiode ($\text{g/m}^2.\text{d}$) in Relation zum Kurzzeitimmissionswert der TA-Luft '86 (IW2)

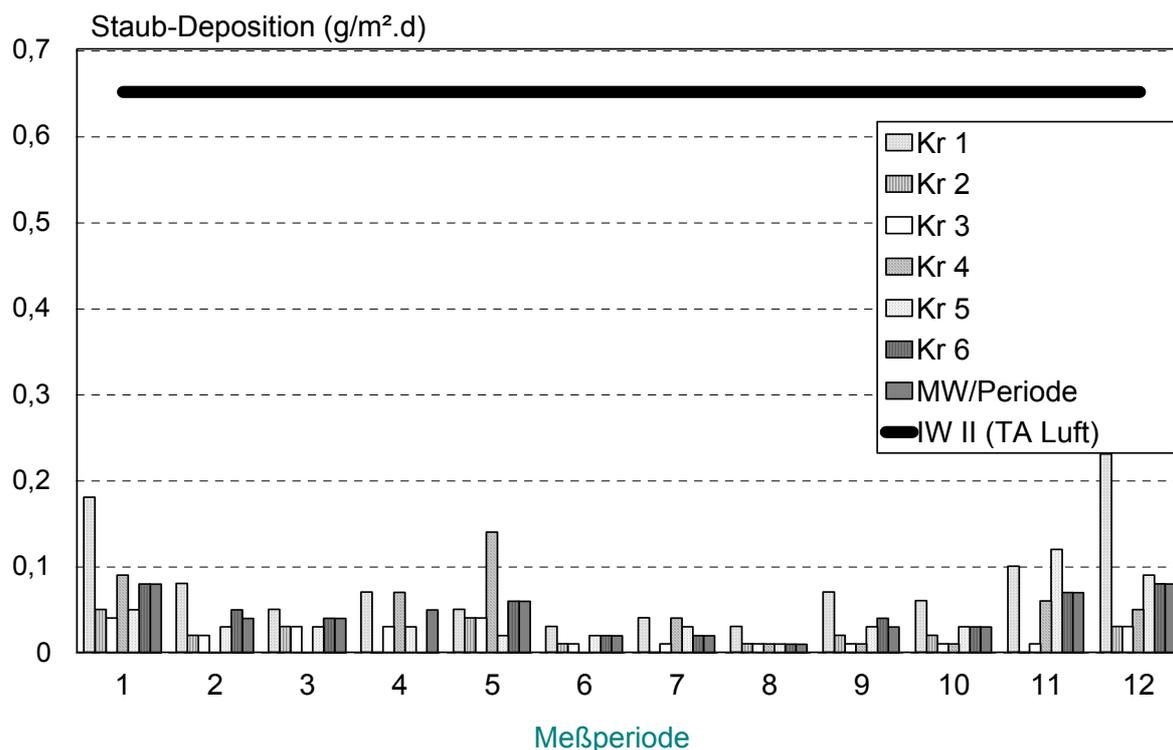
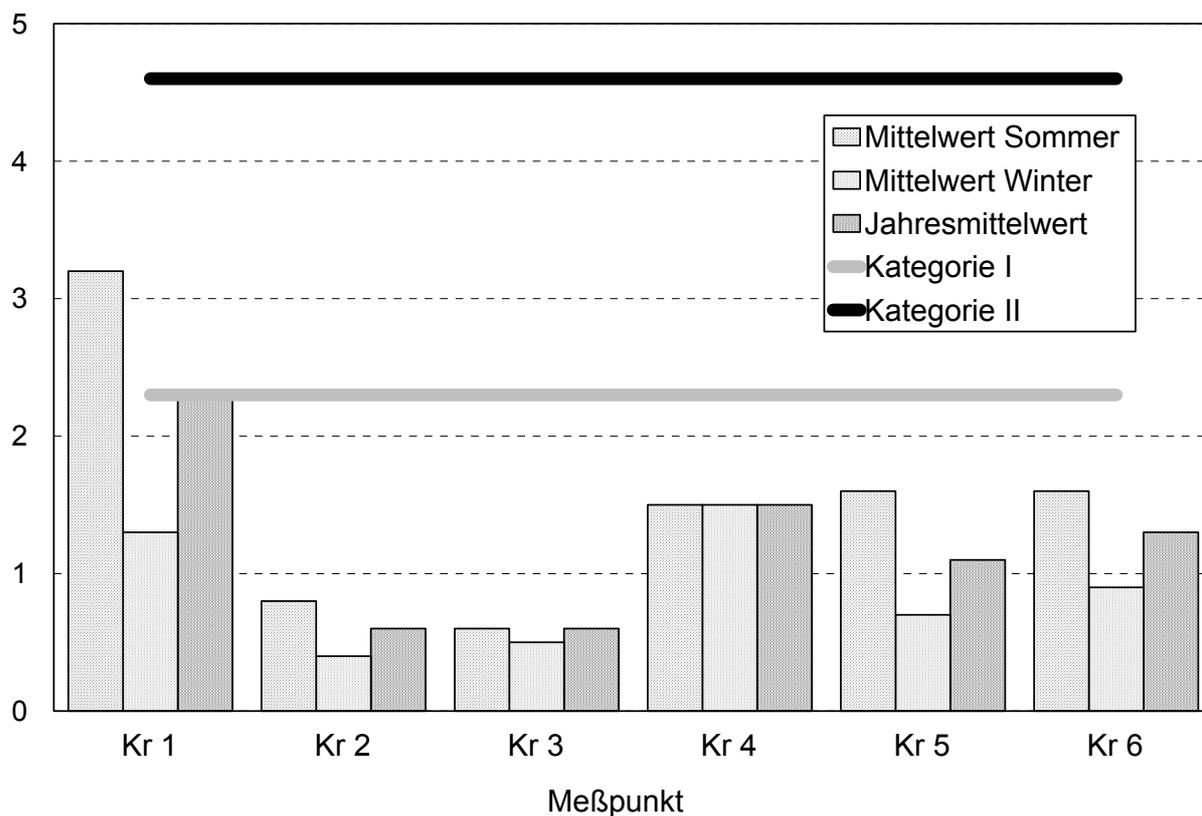


Tabelle 6: Mittlere Staub-Deposition (in $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 28 \text{ d}$)

Meßpunkte	Mittelwert Sommer	Mittelwert Winter	Jahres- mittelwert
Kr 1	3,2	1,3	2,3
Kr 2	0,8	0,4	0,6
Kr 3	0,6	0,5	0,6
Kr 4	1,5	1,5	1,5
Kr 5	1,6	0,7	1,1
Kr 6	1,6	0,9	1,3

Sommersaison : 01.04.1996 - 24.09.1996 (1. - 6. Meßperiode)

Wintersaison : 24.09.1996 - 13.03.1997 (7. - 12. Meßperiode)

Abbildung 5: Mittlere Staubdeposition im Vergleich zu den Staubbelastungskategorien (in $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 28\text{d}$)

4.3. Messung der NO₂- und SO₂-Konzentration mit Badge-Sammlern

In der Krakau wurden an den Meßpunkten Kr 1 (Krakaudorf Kirche), Kr 2 (Krakau-Hintermühlen) und Kr 6 (Unteretrach) Stickstoffdioxid- und Schwefeldioxidkonzentrations-Messungen vorgenommen.

Zur Probenahme wurden Badge-Sammler verwendet. Die Grundlagen dieser Methode stammen von Palmes und Gunnison aus dem Jahr 1976. Weiterentwickelt wurde die Methode von H. Puxbaum und B. Brantner am Institut für Analytische Chemie der TU Wien.

Das Prinzip der verwendeten Badge-Sammler beruht auf einer Diffusion von SO₂, NO₂, HCl und HNO₃, also von sauren Gasen, zu einem absorbierenden Medium (häufig wird Triethanolamin verwendet). Die Menge des absorbierten Schadstoffes ist proportional zur Umgebungskonzentration an der Meßstelle. Nach Beendigung der Messung werden die zu untersuchenden Substanzen extrahiert und anschließend ionenchromatographisch bestimmt und quantifiziert.

Die verwendeten Badge-Sammler bestehen aus einem Plastikzylinder mit einem Durchmesser von 4 cm und einer Höhe von 1 cm, versehen mit einer Aufhängevorrichtung. Die Rückseite ist fest verschlossen, während sich auf der Vorderseite eine entfernbare Schutzkappe befindet. Im Inneren ist ein Stahlnetz befestigt, das mit dem absorbierenden Medium imprägniert wurde und durch eine Membran vor Verschmutzungen geschützt ist.

Zu Beginn der Messung wird die Schutzkappe entfernt und der Sammler exponiert. Am Ende der Messung wird der Sammler wieder verschlossen und kann bis zur Aufarbeitung kühl gelagert werden. Exponiert werden die Sammler auf ca. 1.5 m hohen Stangen. Vor Witterungseinflüssen werden sie durch Glocken geschützt. Die Expositionszeit beträgt ca. vier Wochen.

Da die Menge der absorbierten Probe durch Diffusion an das Absorptionsmittel gelangt, kann über die Diffusionsgleichung der Mittelwert der Konzentration über die Meßdauer bestimmt werden. Die Werte haben die gleiche Dimension wie jene, die von kontinuierlichen Meßstationen erhalten werden.

4.3.1. Auswertung der Meßergebnisse

Tabelle 7: SO₂-und NO₂-Konzentrationen (Meßperiodenmittelwert in µg/m³)

Meßzeitraum	Kr 1		Kr 2		Kr 6	
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
01.04.96 - 06.05.96	0,8	2,4	1,0	1,6	0,8	1,8
06.05.96 - 05.06.96	0,6	2,4	0,4	1,2	0,2	1,6
05.06.96 - 03.07.96	0,2	4,0	0,6	1,8	0,2	2,0
03.07.96 - 01.08.96	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
01.08.96 - 29.08.96	1,4	0,8	0,8	0,4	1,0	0,6
29.08.96 - 24.09.96	0,2	3,0	0,2	1,6	0,2	1,6
24.09.96 - 23.10.96	0,4	2,2	0,4	1,4	0,6	2,4
23.10.96 - 21.11.96	0,4	3,0	1,2	1,8	0,2	1,8
21.11.96 - 19.12.96	0,8	4,0	1,4	1,8	0,4	1,8
19.12.96 - 15.01.97	0,8	4,6	1,4	1,8	0,6	3,0
15.01.97 - 12.02.97	0,8	3,4	1,4	1,8	0,4	1,4
12.02.97 - 13.03.97	-	-	0,8	1,2	0,6	1,6

Tabelle 8: Mittlere SO₂-und NO₂-Konzentrationen (Meßperiodenmittelwert in µg/m³)

	Kr 1		Kr 2		Kr 6	
	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂	SO ₂	NO ₂
Winter	0,6	3,4	1,1	1,6	0,5	2,0
Sommer	0,7	2,2	0,6	1,2	0,5	1,4
Jahr	0,7	2,8	0,8	1,4	0,5	1,7

Sommersaison : 01.04.1996 - 24.09.1996 (1. - 6. Meßperiode)

Wintersaison : 24.09.1996 - 13.03.1997 (7. - 12. Meßperiode)

5. Interpretation und Zusammenfassung der Meßergebnisse

Integrale Meßnetze sind in der Lage, langfristige Belastungen von Gebieten zu erkennen und lokale Unterschiede aufzuzeigen. Kurzzeitige Belastungsspitzen können nicht verfolgt werden.

Die **Depositionsmessungen** (Gesamtstaub, SO₂) liefern als Ergebnisse keine Konzentrationsangaben, wie sie etwa von automatischen Meßstationen erhalten werden, und sind mit diesen auch nicht direkt vergleichbar. Daher erfolgt die Auswertung nicht nach Grenzwerten, wie sie z. B. in der Steiermärkischen Immissionsgrenzwerteverordnung (LGBl. Nr. 5/1987) festgelegt sind, sondern nach den in den Beurteilungsgrundlagen (Kapitel 3.) vorgegebenen Kriterien. Der Beurteilung zugrunde gelegt ist die in Tabelle 1 und 2 wiedergegebene Kategorisierung des Staub- und SO₂-Niederschlags. Diese wurde vom Hygieneinstitut II der Universität Innsbruck entworfen und vom Amt der Salzburger Landesregierung 1975 veröffentlicht.

Weiters wurde für die Beurteilung die "Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft" (TA-Luft '86) mit den Immissionsgrenzwerten für nicht gefährliche Stäube (IW1 und IW2) sowie die Richtlinie "Durchführung von Immissionsmessungen in Kurorten" herangezogen.

Die Mittelwerte der Schwefeldioxid-Belastung für die Winterperioden liegen in der Krakau zwischen 1,5 und 2,8 mg SO₃/dm².28d, für die Sommerperioden zwischen 1,8 und 2,3 mg SO₃/dm².28d. Es zeigt sich dabei ein SO₂-Belastungsmaximum in der kälteren Jahreszeit, das auf lokale Emissionen, in der Krakau dürfte das fast ausschließlich der Hausbrand sein, zurückzuführen ist.

Als Jahresmittel wurde zwischen 1,6 und 2,3 mg SO₃/dm².28d errechnet, somit sind alle Meßpunkte in Kategorie I einzuordnen, die Gebiete mit vernachlässigbarer SO₂-Belastung ausweist.

Die **Staubdepositionsbelastung** ist im Jahresmittel am Punkt Kr 1 (Krakaudorf Kirche) in Kategorie II (nach Tabelle 1), an allen anderen Punkten in Kategorie I einzuordnen. Generell zeigt bei der Gesamtstaubdeposition die Winterperiode eine geringe Belastung, während im Sommer aufgrund landwirtschaftlicher Tätigkeit und Vegetationseinflüssen die Staubbelastung höher ist.

Lediglich am Meßpunkt Kr 4 ist die Staubbelastung im Winter gleich hoch wie im Sommer, was auf Hausbrand zurückzuführen sein dürfte.

Die Immissionsgrenzwerte IW 1 und IW 2 nach der TA-Luft '86 werden weder im Jahresdurchschnitt noch bei den Mittelwerten für die einzelnen Meßperioden überschritten.

Der von der Richtlinie zur Durchführung von Immissionsmessungen in Kurorten vorgeschriebene Grenzwert für Staubbiederschlag wird ebenfalls deutlich unterschritten.

Für die **Konzentrationsmessungen** von Stickstoffdioxid ist festzuhalten, daß der in den Beurteilungsgrundlagen (Kapitel 3.) angegebene Wert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mittelwert über eine Meßperiode) während des gesamten Meßzeitraumes deutlich unterschritten wurde.

Somit entspricht die Luftqualität in der Krakau bezüglich der integralen Messung der Komponenten Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Gesamtstaubdeposition den Anforderungen, wie sie an Erholungsgebiete gestellt werden.